

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH ASPEK RATIO KOLOM
TERHADAP KINERJA PERANGKAT
*OSCILLATING WATER COLUMN***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KOSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ASEP AGUNG WIGUNA

NIM. 145060200111002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH ASPEK RATIO KOLOM TERHADAP KINERJA PERANGKAT OSCILLATING WATER COLUMN

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ASEP AGUNG WIGUNA
NIM. 145060200111002

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 18 Juli 2018

DOSEN PEMBIMBING II

Dr. Eng. Lili Yuliaty, ST., MT.
NIP. 19750702 200003 2 001

DOSEN PEMBIMBING I

Winarto, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19710710 200012 1 001

Mengetahui,
KETUA PROGRAM STUDI SI



Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

Studi Ekperimental Pengaruh Aspek Ratio Kolom Terhadap Kinerja *Oscillating Water Column*

Nama Mahasiswa : Asep Agung Wiguna
NIM : 145060200111002
Program Studi : Teknik Mesin
Minat : Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Dosen Pembimbing 1 : Winarto, ST., MT., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. Sudjito Ph.D.
Dosen Penguji 2 : Dr. Eng. Denny Widhiyanuriyawan ST., MT.
Dosen Penguji 3 : Ir. Hastono Wijaya MT.
Tanggal Ujian : 10 Juli 2018
SK Penguji : 1433/UN10.F07/SK/2018

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain. Kecuali yang tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam kuitipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku (UU No. 29 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan 70)

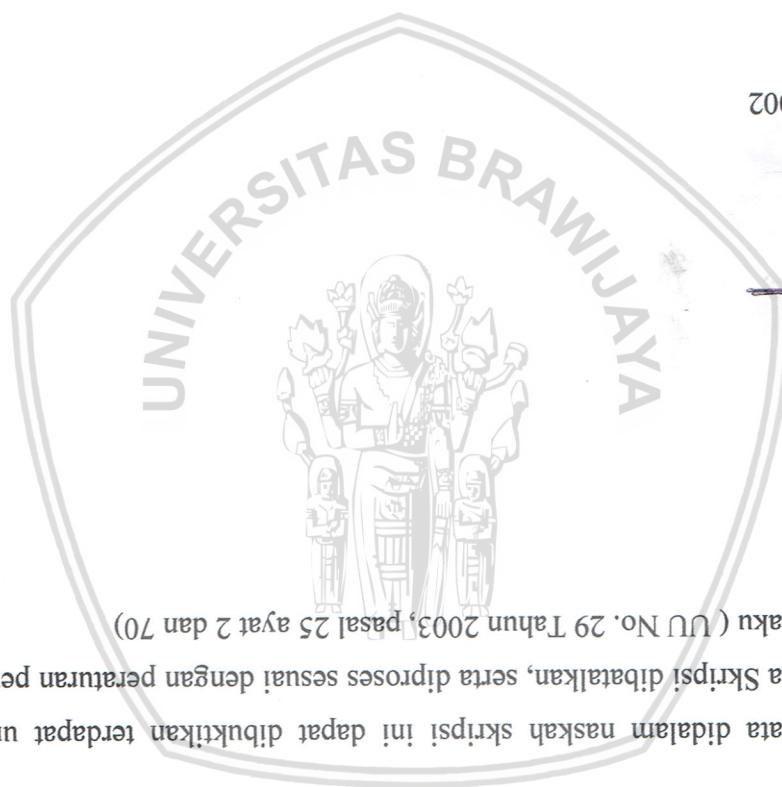
Malang 20 Juli 2018

Mahasiswa



Asep Agung Wiguna

NIM 145060200111002





UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 119/UN10.F07.12.21/pp/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

SYAHRUL ROZI HAQIQI

Dengan Judul Skripsi :

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KEMIRINGAN DINDING DEPAN KOLOM AIR
TERHADAP KINERJA PERANGKAT OSCILLATING WATER COLUMN**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

18 JUL 2018

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D

NIP. 19670518 199412 1 001

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.

NIP. 19740930 200012 1 001





PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya yang telah diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul, ``Studi Ekperimental Pengaruh Aspek Ratio Kolom Air Terhadap Kinerja Perangkat *Oscillating Water Column*'' dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Rasullulah Muhammad SAW.

Dalam penyusunan skripsi penulis telah mendapatkan bantuan, petunjuk, semangat, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut, antara lain :

1. Kedua orang tua, Ayah Supena dan Ibu Susantiati, yang telah memberikan dukungan secara material maupun moral tanpa batas berupa do'a, nasihat, arahan dan motivasi untuk selalu berada di jalan yang benar, serta kakak, Puguh Sigit dan adik, Adinda Regina yang ikut memberi dukungan kepada penulis.
2. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng. Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, dan Bapak Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran proses administrasi.
3. Ibu Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT. selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Konversi Energi.
4. Bapak Winarto, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah memberi banyak pengetahuan, motivasi, bimbingan, dan arahan dengan sabar dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Dr. Eng. Lilis Yuliati, ST., MT. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan wawasan baru, motivasi, bimbingan, arahan, dan teguran demi kesempurnaan penulisan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Slamet Wahyudi, ST., MT. selaku dosen pembimbing akademik yang selalu membimbing dan memberi motivasi penulis.
7. Seluruh dosen pengajar, staff dan karyawan Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membantu penulis dalam mendampingi penulis dalam menyelesaikan skripsi.
8. Seluruh elemen di Laboratorium Mesin-Mesin Fluida yaitu bapak Winarto, S.T., M.T.,

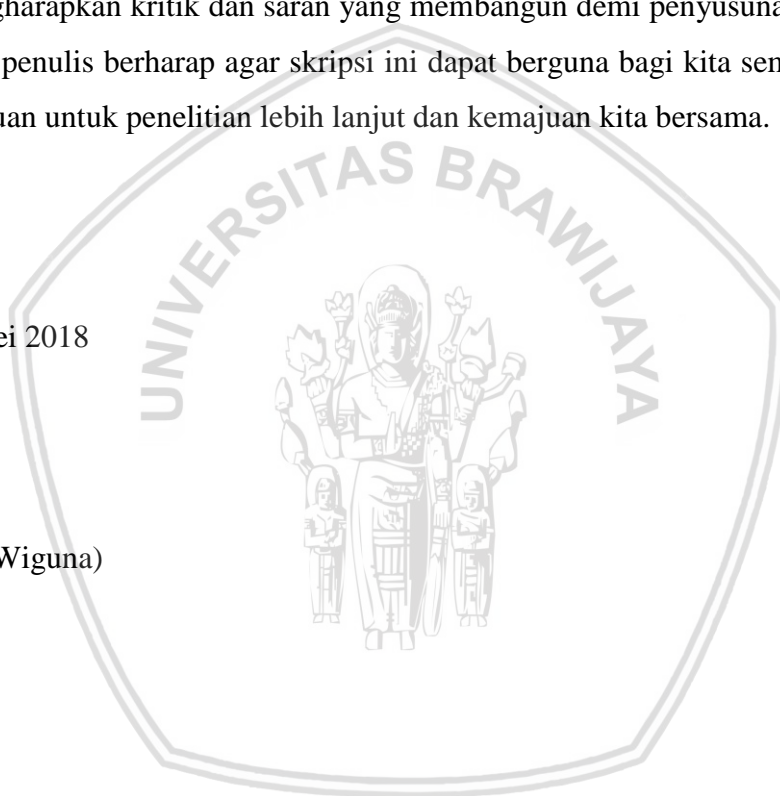
Ph.D. selaku kepala laboratorium, bapak Ponco Moch.NC selaku Laboran, dan temanteman asisten Laboratorium : mas Bahrul, mas Fathan, mas Puji, mas Bayu, mas Partogi, mas Faisal, Abu, Arief, Ojik, Mukti, Jeremy, Tamara, Andrew dan Afan yang selalu mengingatkan dan memberikan dukungan kepada penulis

9. Saudara – saudara seperjuangan M14 “MAF14”. Terimakasih telah menemani, berjuang, meruwet dan tawur bersama selama ini.
10. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyusunan yang lebih baik. Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut dan kemajuan kita bersama.

Malang, 20 Mei 2018

Penulis
(Asep Agung Wiguna)



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Karakteristik Gelombang.....	7
2.3 Energi dan Daya Gelombang	9
2.4 <i>Oscillating Water Column (OWC)</i>	11
2.5 Persamaan Bernoulli.....	12
2.6 Tekanan Statis, Dinamis, Stagnasi.	13
2.7 <i>Sudden Expansion</i>	14
2.8 Hipotesa	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Variabel Penelitian	17
3.2 Instalasi Penelitian.....	18
3.3 Prosedur Penelitian	22
3.4 Flowchart Penelitian	23

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

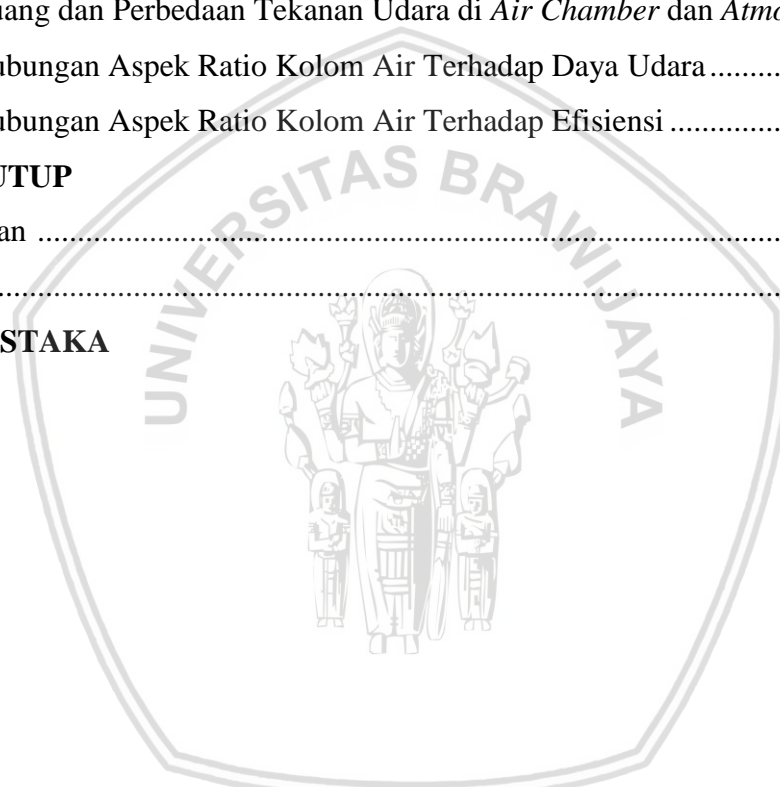
4.1 Pengolahan Data	27
4.1.1 Pengolahan Data Daya Gelombang Air.....	27
4.1.2 Pengolahan Data Daya Udara.....	29
4.2 Analisa Grafik	31
4.2.1 Hubungan Aspek Ratio Kolom Air Terhadap Ketinggian Permukaan Air dalam OWC	31
4.2.2 Hubungan Aspek Ratio Kolom Air Terhadap Kecepatan Udara di Saluran Buang dan Perbedaan Tekanan Udara di <i>Air Chamber</i> dan <i>Atmosfer</i>	33
4.2.3 Hubungan Aspek Ratio Kolom Air Terhadap Daya Udara.....	35
4.2.4 Hubungan Aspek Ratio Kolom Air Terhadap Efisiensi	37

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran.....	39

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
<i>Gambar 2.1</i>	Geometri OWC yang digunakan.....	5
<i>Gambar 2.2</i>	Pengaruh rasio panjang dan kedalaman air terhadap OWC.....	5
<i>Gambar 2.3</i>	Geometri OWC yang digunakan.....	6
<i>Gambar 2.4</i>	Tabel dimensi OWC yang digunakan	6
<i>Gambar 2.5</i>	Pengaruh rasio lebar dan panjang gelombang terhadap efisiensi OWC	7
<i>Gambar 2.6</i>	Karakteristik gelombang	7
<i>Gambar 2.7</i>	Klasifikasi gelombang laut (a) <i>Swallow wave</i> (b) <i>Transitional wave</i> , (c) <i>Deep wave</i>	8
<i>Gambar 2.8</i>	Perbedaan kecepatan gelombang air dengan kecepatan grup gelombang air	8
<i>Gambar 2.9</i>	Uraian energi potensial pada gelombang air.....	10
<i>Gambar 2.10</i>	Prinsip kerja OWC.....	11
<i>Gambar 2.11</i>	Tekanan statis, dinamis, stagnasi	13
<i>Gambar 2.12</i>	(a) <i>Flow separation</i> , (b) <i>sudden expansion</i>	15
<i>Gambar 3.1</i>	Instalasi penelitian <i>oscillating water column</i>	18
<i>Gambar 3.2</i>	Dimensi kolam air.....	18
<i>Gambar 3.3</i>	<i>Oscillating water column</i>	19
<i>Gambar 3.4</i>	<i>Wave maker</i>	20
<i>Gambar 3.5</i>	Sensor ultrasonic (HC-SR04)	21
<i>Gambar 3.6</i>	Anemometer.....	21
<i>Gambar 3.7</i>	Kamera.....	22
<i>Gambar 3.8</i>	Arduino	22
<i>Gambar 3.9</i>	Laptop	22
<i>Gambar 4.1</i>	Visualisasi gelombang air	27
<i>Gambar 4.2</i>	Hubungan aspek ratio kolom air terhadap ketinggian permukaan air dalam OWC	31
<i>Gambar 4.3</i>	OWC aspek ratio kolom air 1:2 ; 1:1 ; 2:1	32
<i>Gambar 4.4</i>	Kecepatan udara pada saluran buang	33
<i>Gambar 4.5</i>	Perbedaan tekanan antara <i>air chamber</i> dengan lingkungan	34
<i>Gambar 4.6</i>	Hubungan aspek ratio kolom air terhadap daya udara.....	35
<i>Gambar 4.7</i>	Pengaruh aspek ratio kolom air terhadap efisiensi	37

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Gelombang	8
Tabel 3.1	Tabel dimensi OWC	19
Tabel 4.1	Parameter gelombang air	28
Tabel 4.2	Kecepatan udara pada saluran buang	29
Tabel 4.3	Beda tekanan pada <i>air chamber</i> dan lingkungan	29
Tabel 4.4	Daya udara OWC	30
Tabel 4.5	Efisiensi OWC	31



RINGKASAN

Asep Agung Wiguna, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2018, *Eksperimental Pengaruh Aspek Ratio Kolom Air Terhadap Kinerja Perangkat Oscillating Water Column*, Dosen Pembimbing : Winarto dan Lilis Yulianti.

Indonesia memiliki wilayah laut 3,25 juta km² yang tentunya memiliki potensi energi gelombang laut yang dapat dimanfaatkan untuk menjadi energi listrik. Dengan rata rata tinggi gelombang laut Indonesia 2,5 m dengan tinggi maksimum 4 m sehingga memungkinkan dimanfaatkan menjadi tenaga listrik menggunakan *oscillating water column*. *Oscillating water column* (OWC) merupakan suatu perangkat yang memanfaatkan naik turun permukaan air karena gelombang laut untuk memampatkan udara yang berada pada kolom. Udara bertekanan dialirkan ke saluran buang untuk memutar turbin. OWC memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja OWC diantaranya karakteristik gelombang laut, parameter bentuk perangkat serta saluran buang.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh aspek ratio panjang dan lebar kolom air terhadap kinerja perangkat OWC dengan sisi masuk OWC yang bernilai sama. Aspek ratio dengan merubah panjang dan lebar dengan luas penampang konstan, serta lebar sisi masuk air sama dengan nilai 21 cm. Aspek ratio panjang dan lebar yang digunakan adalah 1:2 ; 1:1 ; 2:1.

Hasil dari penelitian ini, pada aspek ratio kolom air 2:1 memiliki perubahan ketinggian permukaan air dalam OWC paling besar daripada aspek ratio kolom air 1:2 dan 1:1. Dikarenakan pada aspek ratio kolom air 2:1 memiliki daya udara yang paling besar yaitu 0,0851 watt yang dikarenakan perubahan ketinggian permukaan air sangat besar. Daya udara yang paling kecil dimiliki oleh aspek ratio kolom air 1:1 sebesar 0,0467 watt. Dikarenakan daya air gelombang yang masuk bernilai sama pada aspek ratio 1:2 ; 1:1 ; 2:1 maka nilai efisiensi dipengaruhi oleh adanya udara yang dihasilkan OWC. Efisiensi yang tertinggi dimiliki oleh aspek ratio 2:1 dengan besar efisiensi 9,58% dan efisiensi yang terendah dimiliki oleh aspek ratio 1:1 dengan besar efisiensi 5,26%. Dari hasil penelitian diketahui bahwa aspek ratio kolom air berpengaruh terhadap kinerja yang dimiliki OWC

Kata kunci : *Oscillating Water Column* , OWC, aspek ratio kolom,

SUMMARY

Asep Agung Wiguna, Department of Mechanical Engineering , Faculty of Engineering Brawijaya University, May 2018, *Experimental Study of The Influence of Water Column Aspect Ratio To The Performance of Oscillating Water Column* , Academic Supervisor : Winarto and Lilis Yuliati.

Indonesia has a marine area of 3.25 million km² which of course has the potential of ocean wave energy that can be utilized to become electrical energy. With the average sea wave height of 2.5 m with a maximum height of 4 m, making it possible to be utilized into electricity using oscillating water column. Oscillating water column (OWC) is a device that utilizes up and down the surface of the water because of ocean waves to compress the air in the column. Pressurized air is discharged to discharge the turbine. OWC has several factors that affect the performance of OWC such as sea wave characteristics, device shape parameters and exhaust channels..

This research was conducted to determine the effect of aspect ratio length and width of water column on the performance of OWC device with OWC entry side with the same value. Aspect ratio by changing the length and width with a constant cross-sectional area, as well as the width of the inlet side of the water equal to the value of 21 cm. The aspect ratio of length and width used is 1: 2; 1: 1; 2: 1.

The result of this research, on the aspect ratio of water column 2: 1 has the change of water surface height in OWC is bigger than aspect ratio of water column 1: 2 and 1: 1. Due to the aspect ratio of water column 2: 1 has the largest air power is 0.0851 watts due to changes in water level is very large. The least air power is owned by a 1: 1 water column aspect ratio of 0.0467 watt. Due to the incoming wave water power is equal in aspect ratio 1: 2; 1: 1; 2: 1 then the efficiency value is influenced by the air produced by OWC. The highest efficiency is owned by the aspect ratio 2: 1 with the efficiency of 9.58% and the lowest efficiency is owned by the aspect ratio 1: 1 with the great efficiency of 5.26%. From the research results diketehui that the aspect ratio of water column affect the performance of OWC

Keywords : Oscillating Water Column , OWC,

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Semakin pesatnya kemajuan teknologi saat ini maka kebutuhan listrik terus bertambah seiring dengan pertumbuhan penduduk yang mengakibatkan tingginya konsumsi listrik. Listrik saat ini yang banyak digunakan berasal dari pembangkit listrik bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Bahan bakar berasal dari bahan fosil tersedia dengan jumlah yang terbatas dan suatu saat akan habis. Karena itu perlu dibutuhkan energi alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik. Salah satu energi alternatif yang melimpah di bumi yaitu energi gelombang laut. Energi gelombang laut belum banyak dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Energi gelombang laut sangat menjanjikan sebab luas laut di bumi sekitar 70.8 % luas bumi.

Indonesia memiliki wilayah laut 3,25 juta km² yang tentunya memiliki potensi energi gelombang laut yang menjanjikan. Data dari BMKG 2017, rata rata tinggi gelombang laut pada lautan Indonesia adalah 2.5 m dengan tinggi maksimum 4 m sehingga energi yang dimiliki sangatlah besar. Oleh karena potensi yang dimiliki sangat besar, maka perlu pengembangan pemanfaatan energi gelombang laut menjadi energi listrik.

Pemetaan topografi Indonesia sangat penting untuk pemanfaatan potensi energi gelombang laut. Wilayah yang sangat berpotensi adalah Jawa timur, khususnya pesisir pantai Malang selatan. Pesisir pantai Malang selatan yang merupakan laut Hindia memiliki karakteristik tinggi gelombang rata rata 2.5 m sepanjang tahun dengan tinggi maksimum 3 m. Dengan karakteristik gelombang laut seperti tersebut diatas, sangat memungkinkan pengembangan pemanfaatan energi gelombang laut.

Dalam pemanfaatan energi gelombang laut banyak metode yang dapat dilakukan. Klasifikasi metode berdasarkan letak perangkat ada tiga yaitu *on shore*, *near-shore to offshore*, *off shore*. Dalam pemanfaat energi gelombang laut, banyak negara yang menggunakan metode *on shore* dengan perangkat *Oscillating Water Column* (OWC) seperti Australia , Cina, Inggris dan Jepang.

OWC adalah suatu perangkat yang memanfaatkan naik turun permukaan air karena gelombang laut untuk memampatkan udara yang berada pada kolom. Udara bertekanan dialirkan ke saluran buang untuk memutar turbin. OWC merupakan perangkat yang praktis

hanya berbentuk kolom yang diletakkan di laut lepas dalam keadaan terapung atau pada garis pantai. Dengan tidak ada komponen bergerak pada OWC, perawatan sangat mudah dan memiliki umur yang panjang. Efisiensi perangkat ini tergantung pada bentuk dari perangkat, sistem saluran buang dan karakteristik gelombang laut. Berdasarkan parameter bentuk perangkat dapat menghasilkan efisiensi tertinggi untuk sudut orientasi pada dinding depan yang terendam pada 0° (Bouali, 2013). Untuk sudut orientasi pada dinding depan yang terendam pada 180° memiliki efisiensi tertinggi pada lebar $0.80h$ dimana h adalah panjang dinding depan yang terendam (Bouali, 2013). Berdasarkan perbedaan lebar OWC dapat menghasilkan efisiensi tertinggi pada lebar $0.21m$ dengan kedalaman air $0.5 m$ dan panjang gelombang konstan (Simonetti, 2017) dan berdasarkan panjang dinding depan yang tenggelam, nilai efisiensi tertinggi dimiliki oleh panjang dinding yang tenggelam pada panjang $0.07 m$ dengan kedalaman air $0.5 m$ dan tinggi gelombang konstan (Simonetti, 2017).

OWC memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja OWC diantaranya karakteristik gelombang, parameter bentuk perangkat serta saluran buang. Berbagai macam parameter bentuk perangkat seperti kemiringan permukaan depan, panjang dan lebar *chamber*, tinggi *chamber*, ketebalan sisi depan *chamber* dan lain lain. Dalam penelitian kali ini akan dibahas mengenai pengaruh aspek ratio penampang sisi masuk terhadap kinerja perangkat OWC. Besar aspek ratio akan mempengaruhi gerakan gelombang/ laut dan tekanan di dalam OWC. Hal ini akan berpengaruh juga terhadap daya udara yang dihasilkan oleh OWC dan kinerjanya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh aspek ratio kolom air terhadap perubahan ketinggian permukaan air dalam OWC?
2. Bagaimana pengaruh aspek ratio kolom air kolom terhadap daya udara yang dihasilkan OWC?
3. Bagaimana pengaruh aspek ratio kolom air kolom terhadap efisiensi perangkat OWC?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat supaya penelitian menjadi lebih fokus. Pada penelitian kali ini batasan masalah yang ditetapkan antara lain :

- panjang dan tinggi gelombang dianggap konstan
- tekanan pada permukaan air diluar kolom konstan dan seragam
- aliran udara pada saluran buan OWC diasumsikan bersifat inkompresible

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh aspek ratio kolom air penampang terhadap perubahan ketinggian permukaan air dalam OWC.
2. Mengetahui pengaruh aspek ratio kolom air penampang terhadap daya udara yang dihasilkan oleh OWC.
3. Mengetahui pengaruh aspek ratio kolom air penampang terhadap efisiensi perangkat OWC.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai salah satu usaha untuk menemukan alternatif pemanfaatan energi terbarukan yang berguna bagi masyarakat.
2. Mendapatkan desain OWC yang memiliki kinerja lebih optimal
3. Menjadi acuan bagi penelitian selanjutnya.

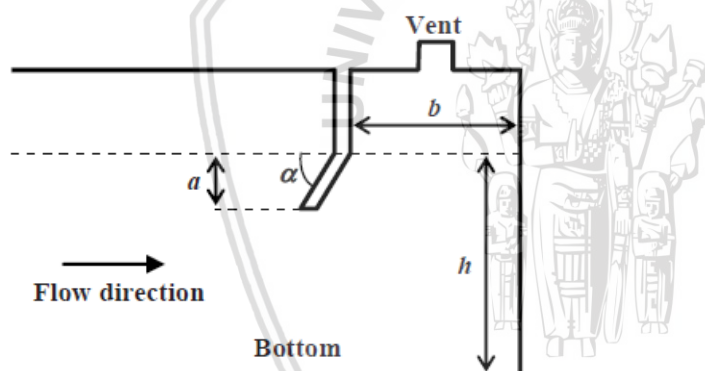


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

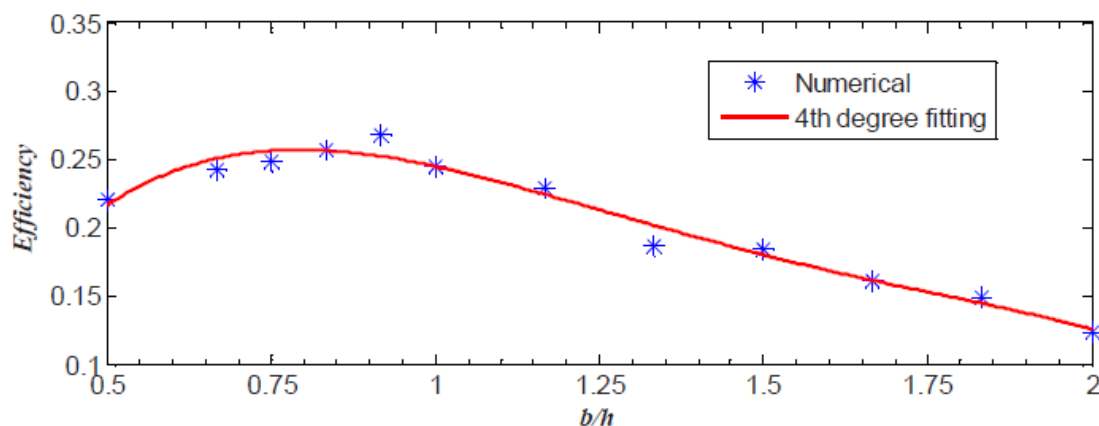
2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai perangkat *Oscillating water column* (OWC) telah banyak dilakukan para peneliti untuk mendapatkan kinerja yang optimal. Dalam penelitian sebelumnya, terdapat tiga variabel yang dapat meningkatkan kinerja yaitu karakteristik gelombang laut, geometri OWC dan saluran buang perangkat OWC.

Bouali (2015), mengembangkan penelitiannya dengan memodifikasi desain dinding depan *chamber*. Penelitian tersebut menganalisis pengaruh rasio dimensi *chamber* dan kedalaman air terhadap efisiensi OWC pada sudut orientasi sisi depan *chamber* 180^0 . Dari hasil penelitian diketahui efisiensi tertinggi pada perangkat OWC adalah 26.83 % pada ukuran panjang *chamber* perangkat OWC bernilai $0.92h$ dimana h adalah kedalaman air.

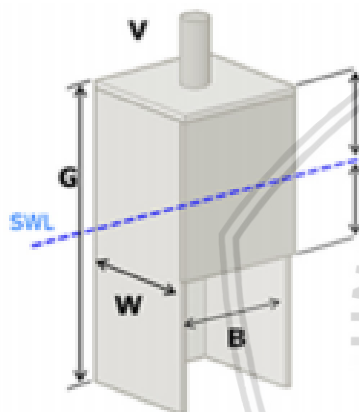


Gambar 2.1 Geometri OWC yang digunakan
Sumber: Bouali, B.& Larbi, S. (2013)



Gambar 2.2 Pengaruh rasio panjang dan kedalam air terhadap efisiensi OWC
Sumber: Bouali, B.& Larbi, S. (2013)

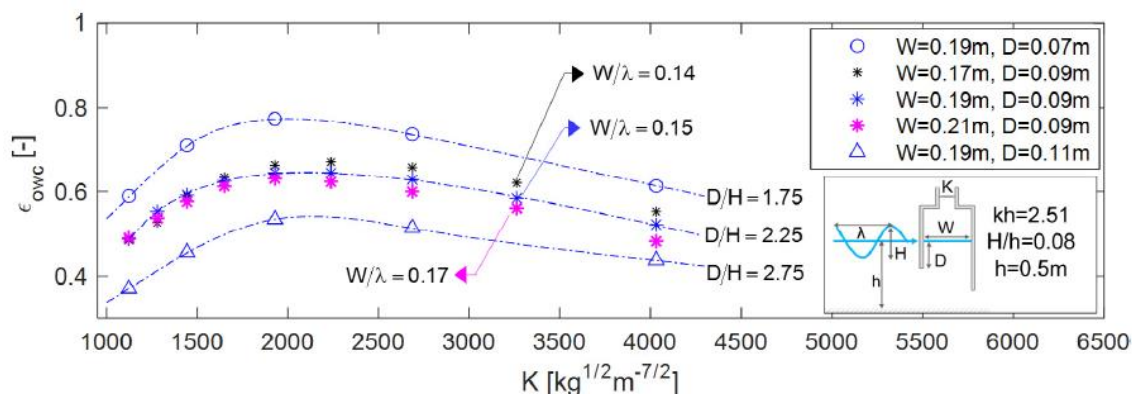
Simonetti (2017) dalam penelitiannya menganalisis pengaruh parameter panjang *chamber* OWC dan kedalaman sisi depan OWC yang terendam terhadap efisiensi perangkat OWC. Untuk perangkat OWC yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.3 dengan keterangan geometri pada gambar 2.4. Variasi panjang *chamber* yang digunakan adalah 0.17 m; 0.19 m; 0.21 m dan variasi sisi depan yang terendam adalah 0.07 m; 0.09 m; 0.11 m. Dengan lebar OWC yang sama 0.2 m dan menggunakan kedalaman air 0.5 m. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk sisi depan OWC yang terendam dijaga konstan bernilai 0.09 m, efisiensi OWC tertinggi dimiliki OWC dengan panjang sisi 0.17 m. Disaat panjang OWC bijaga konstan dengan ukuran 0.19 m, efisiensi OWC tertinggi dimiliki oleh OWC yang sisi depan terendam 0.07 m.



Gambar 2.3 Geometri OWC yang digunakan
Sumber : Simonetti et all (2017)

parameter	[unit]	value
Chamber length <i>W</i>	[m]	0.17–0.19–0.21
Front wall draught <i>D</i>	[m]	0.07–0.09–0.11
Top cover vent diameter <i>V</i>	[m]	0.022–0.038 ^a
Back wall length <i>G</i>	[m]	0.45
Chamber width <i>B</i>	[m]	0.2
Chamber freeboard <i>F_c</i>	[m]	0.15
Water depth <i>h</i>	[m]	0.5

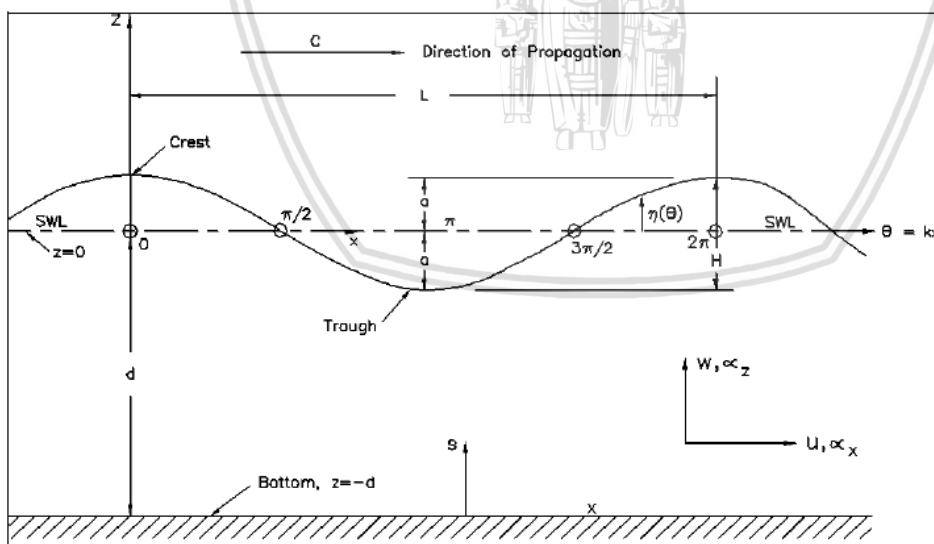
Gambar 2.4 Dimensi OWC yang digunakan
Sumber : Simonetti et all (2017)



Gambar 2.5 Pengaruh rasio lebar dan panjang gelombang terhadap efisiensi OWC
Sumber : Simonetti (2017 et all)

2.2 Karakteristik Gelombang Air

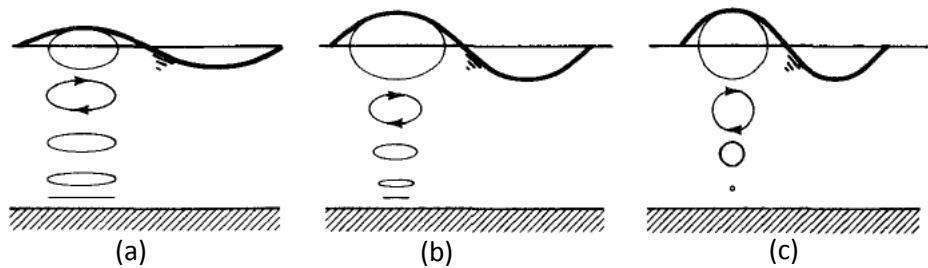
Dalam karakteristik suatu gelombang terdapat parameter parameter yang harus diperhatikan antara lain tinggi gelombang (H), panjang gelombang (L) dan kedalaman air (d). Pada gambar 2.6, puncak tertinggi pada gelombang air disebut *crest* dan titik terendah pada gelombang air disebut *trough*. Jarak dari titik *crest* terhadap permukaan air saat tenang disebut amplitudo (a). Tinggi gelombang (H) bernilai $H = 2a$. Waktu yang diperlukan untuk terbentuknya satu *crest* dan satu *trough* disebut dengan periode (T). Panjang gelombang (L) adalah jarak horizontal antara dua titik pada terbentuknya satu *crest* dan satu *trough*.



Gambar 2.6 Karakteristik gelombang
Sumber : Dean, G. R. & Robert A. D. (1984,p.3).

Parameter parameter lain pada gelombang adalah *the wave number* (k) = $2\pi/L$, kecepatan gelombang (*wave clerity*) = c , *the wave steepness* $e = H/L$, *the deep relative* (d/L),

tinggi gelombang relative (H/d) . pergerakan gelombang biasanya didefinisikan dengan parameter tanpa satuan seperti H/L , H/d , dan d/L .



Gambar 2.7 Klasifikasi gelombang laut (a) *Swallow wave* (b) *Transitional wave*, (c) *Deep wave*

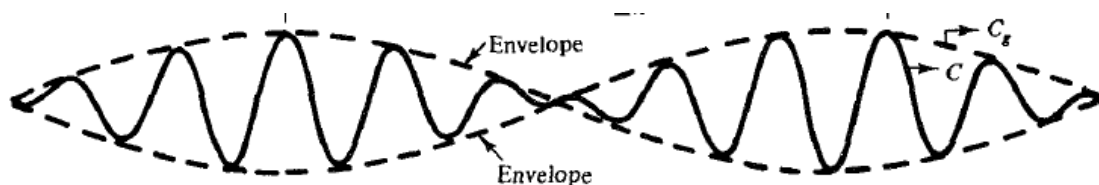
Sumber : Dean, G. R. & Robert A. D. (1984,p.83).

Tabel 2.1
Klasifikasi Gelombang

Klasifikasi	Swallow	Transitional	Deep
$\frac{d}{L}$	$\frac{d}{L} < \frac{1}{20}$	$\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$	$\frac{d}{L} > \frac{1}{2}$
kd	$kd < \frac{\pi}{10}$	$\frac{\pi}{10} < kd < \pi$	$kd > \pi$
c	\sqrt{gd}	$\frac{gT}{2\pi} \tanh(kd)$	$\frac{gT}{2\pi}$
c_g	$c_g = c$	$\frac{L}{2T} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right]$	$\frac{c}{2}$

Sumber: Dean, G. R. & Robert A. D. (1984,p.43).

Terdapat parameter pada gelombang air yang dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh gelombang air yaitu kecepatan gelombang air dan kecepatan grup gelombang air. Kecepatan gelombang air adalah jarak yang ditempuh oleh satu gelombang dalam satu detik. Kecepatan grup gelombang air adalah jarak yang ditempuh oleh sekelompok gelombang dalam satu detik. Untuk lebih jelas maka bisa dilihat di gambar 2.8



Gambar 2.8 Perbedaan kecepatan gelombang air dengan kecepatan grup gelombang air

Sumber : Dean, G. R. & Robert A. D. (1984,p.99)

2.3 Energi dan Daya Gelombang

Pergerakan partikel yang disebabkan oleh gelombang akan menghasilkan energi gelombang. Total energi pada suatu gelombang adalah total dari energi kinetik dan energi potensial.. Energi kinetik berasal dari kecepatan partikel air karena pergerakan gelombang. Suatu elemen pada gelombang memiliki volume $dx \times dz \times 1$ dengan massa jenis ρ dan memiliki kecepatan partikel kearah horizontal (u) dan vertical (w) sehingga diperoleh rumus energi kinetik sebagai berikut

$$d(KE) = \frac{1}{2} V^2 \cdot dm \dots\dots\dots (2.1)$$

$$d(KE) = \frac{1}{2} (u^2 + w^2) \rho \cdot 1 \cdot dx \cdot dz \dots\dots\dots (2.2)$$

Untuk penyelesain persamaan (2.2), maka perlu mengintegrasikan persamaan sebagai berikut

$$\overline{KE} = \frac{1}{L} \int_x^{x+L} \int_{-d}^{\eta} (u^2 + w^2) \rho \cdot 1 \cdot dz \cdot dx \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan persamaan kecepatan arah horizontal zat cair dan arah vertikal zat cair seperti pada persamaan (2.4) dan (2.5)

$$u = \frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \cos(kx - \sigma t) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$w = \frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \sin(kx - \sigma t) \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan mensubtitusikan persamaan (2.4) dan (2.5) ke dalam persamaan (2.3) maka diperoleh persamaan (2.6)

$$\overline{KE} = \frac{1}{L} \int_x^{x+L} \int_{-d}^{\eta} \left\{ \left(\frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \cos(kx - \sigma t) \right)^2 + \left(\frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \sin(kx - \sigma t) \right)^2 \right\} \cdot \rho \cdot 1 \cdot dx \cdot dz \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

η = jarak antara muka air rerata dan permukaan (meter)

L = panjang gelombang (meter)

H = tinggi gelombang (meter)

σ = frekuensi gelombang (meter)

k = bilangan gelombang

$$k = \frac{2\pi}{L} \dots\dots\dots (2.7)$$

h = jarak antara muka air rerata dan dasar laut (meter)

Dari persamaan (2.6) dapat diselesaikan sehingga menghasilkan persamaan (2.7) berikut

$$\overline{KE} = \frac{\rho g H^2}{16} \dots\dots\dots (2.7)$$

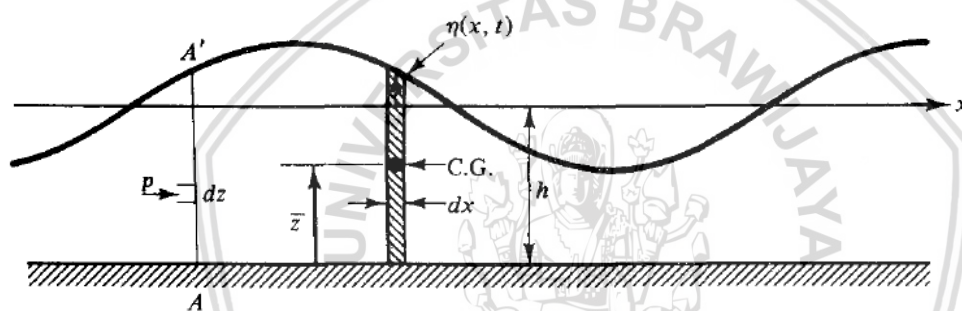
Energi potensial yang dihasilkan oleh gerak gelombang diperoleh dari energi potensial dari gelombang dikurangi dengan energi disaat tanpa gelombang. Maka energi potensial pada gelombang air dapat ditulis persamaan (2.8) dan (2.9).

$$(\overline{PE})_{waves} = (\overline{PE})_T - (\overline{PE})_{w/o} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$= \frac{1}{L} \int_x^{x+l} \rho g \frac{(d+\eta)^2}{2} dx - \frac{1}{L} \int_x^{x+l} \rho g \frac{(d)^2}{2} dx \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan mensubstitusi $\eta = \left(\frac{H}{2}\right) \cos(kx - \sigma t)$, maka akan didapat persamaan (2.10)

$$(\overline{PE})_{waves} = (\overline{PE}) = \frac{\rho g H^2}{16} \dots\dots\dots (2.10)$$



Gambar 2.9 Uraian energi potensial pada gelombang air
Sumber: Dean, G. R. & Robert A. D. (1984,p. 85)

untuk mendapatkan energi gelombang untuk setiap satu gelombang dan satuan lebar gelombang dapat ditulis sebagai berikut

$$\bar{E} = \overline{KE} + \overline{PE} = \frac{\rho g H^2}{8} \dots\dots\dots (2.11)$$

Gelombang yang melalui lautan memiliki energi kinetik dan energi potensial. Gelombang bergerak terus menuju ke pantai sehingga energi juga bergerak memiliki kecepatan. Kecepatan energi berpindah pada gelombang air disebut dengan daya gelombang

Daya gelombang dapat dirumuskan sebagai persamaan (2.12) dan (2.13)

$$\overline{P}_{wave} = \bar{E} \cdot c_g \dots\dots\dots (2.12)$$

$$P_{wave} = \bar{E} \cdot c_g \cdot b \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana

\overline{P}_{wave} = daya gelombang air per satuan lebar (watt / meter)

P_{wave} = daya gelombang air (watt)

\bar{E} = energi gelombang air per satuan lebar (joule/meter²)

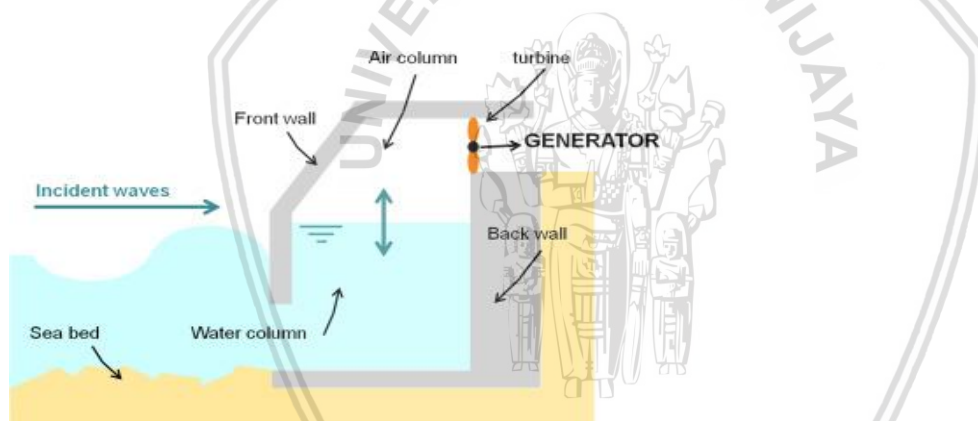
c_g = kecepatan grup gelombang (m/s)

b = lebar gelombang (m)

Nilai c_g memiliki nilai yang berbeda-beda tergantung karakteristik gelombang yang terbentuk. Maka nilai c_g dapat dilihat pada table 2.1

2.4 Oscillating Water Column (OWC)

OWC adalah perangkat yang merubah energi gelombang laut menjadi energi listrik dengan bantuan turbin yang tersambung dengan generator. Prinsip kerja dari OWC dapat dilihat pada gambar 2.10 berikut



Gambar 2.10 Prinsip kerja OWC

Sumber : Iturrioz et al (2015,p.223)

Gelombang laut masuk ke ruang *water column* dan mengakibatkan peningkatan volume air pada OWC. Peningkatan volume air pada OWC mengakibatkan volume udara pada *air column* menurun sehingga terjadi proses kompresi. Udara bertekanan yang dihasilkan dari proses kompresi tersebut digunakan menggerakkan turbin pada saluran buang OWC.

Gelombang laut keluar ke ruang *water column* dan mengakibatkan penurunan volume air pada OWC. Penurunan volume air pada OWC mengakibatkan volume udara pada *air column* meningkat sehingga terjadinya proses ekspansi. Pada proses ekspansi mengakibatkan udara pada *air column* memiliki tekanan lebih rendah dari pada tekanan udara lingkungan sehingga udara pada lingkungan terhisap masuk ke *air column* dan menggerakkan turbin pada saluran buang. Untuk menghasilkan efisiensi yang tinggi, ada

tiga aspek yang harus diperhatikan yaitu karakteristik gelombang, geometri OWC dan geometri saluran buang.

Karakteristik gelombang laut berpengaruh terhadap daya gelombang air yang dihasilkan. Karakteristik gelombang untuk mendapatkan energi yang tinggi dipengaruhi oleh kecepatan gelombang, panjang gelombang, tinggi gelombang, periode gelombang.

Selain karakteristik gelombang, hal yang berpengaruh terhadap kinerja OWC adalah geometri OWC. Geometri OWC akan mempengaruhi gerakan gelombang air di dalam kolom. Beberapa geometri yang berpengaruh dalam OWC antara lain bentuk *chamber*, kemiringan dinding depan OWC, luas permukaan sisi masuk air dan sebagainya. Untuk mengetahui geometri mana yang optimal dapat diperoleh dari sebuah eksperimental.

Kinerja OWC akan optimal apabila menggunakan saluran buang yang sesuai. Saluran buang dapat mempengaruhi tekanan yang keluar dari ruang *chamber*. Rumus daya udara hasil kompresi di ruang *chamber* persamaan (2.12) dan (2.13)

$$P_{owc} = \Delta P \cdot Q \dots\dots\dots(2.12)$$

$$P_{owc} = \left(\frac{\rho_a v^2}{2}\right) \cdot \left(v \cdot \frac{\pi D^2}{4}\right) \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana

P_{owc} = daya yang dihasilkan OWC

ρ_a = massa jenis udara

v = kecepatan udara di saluran buang

Efisiensi OWC dipengaruhi oleh daya gelombang air dan daya udara OWC yang dihasilkan sehingga dapat dirumuskan sebagai persamaan (2.14)

$$\eta_{owc} = \left(\frac{P_{owc}}{P_{gelombang\ laut}}\right) \cdot 100 \% \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana

η_{owc} = efisiensi OWC

P_{owc} = daya udara yang dihasilkan OWC (watt)

$P_{gelombang\ laut}$ = daya gelombang air (watt)

2.5 Persamaan Bernoulli

Persamaan bernoulli merupakan hubungan antara tekanan, kecepatan dan ketinggian. Persamaan bernoulli merupakan jumlah dari energi kinetik, potensial dan energi tekanan pada partikel fluida bernilai konstan sepanjang garis *streamline* yang dapat dirumuskan sebagai persamaan (2.15)

$$\frac{P}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gh = \text{konstan sepanjang garis streamline} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$P + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{konstan sepanjang garis streamline} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimanan

P = Tekanan (N/m^2)

ρ = Massa jenis (kg/m^3)

v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

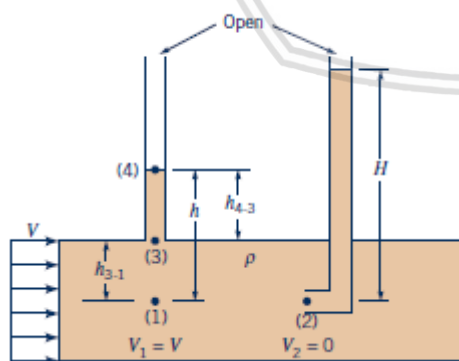
h = ketinggian (m)

Untuk menggunakan persamaan bernoulli maka diperlukan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Persamaan tersebut diterapkan hanya sepanjang garis *streamline*
2. Aliran fluida bersifat incompressible
3. Aliran *steady*
4. Efek efek viskos diabaikan (*Inviscid*)

Persamaan ini berlaku untuk aliran pada sebuah bidang (bidang x-z) atau non-bidang (tiga-dimensi), dengan catatan diterapkan disepanjang garis *streamline*

2.6 Tekanan Statis, Dinamis, Stagnasi.



Gambar2.11 Tekanan statis, dinamis, stagnasi.

Sumber : Munson (2002,p.113)

Konsep Bernoulli sangat berhubungan dengan tekanan statik stagnasi dan dinamik yang dapat dijelaskan pada gambar 2.11. Tekanan ini timbul dari perubahan energy kinetik dalam

sebuah fluida yang mengalir menjadi suatu “kenaikan tekanan” ketika fluida dibuat menjadi diam. Persamaan bernoulli (2.17) mempunyai dimensi gaya per satuan luas.

$$P + \frac{\rho v^2}{2} + \rho gh = \text{konstan sepanjang garis streamline}$$

Pada suku pertama, P , adalah tekanan statik pada fluida dimana tekanan fluida ketika mengalir. Untuk mengukur tekanan static adalah dengan membuat sebuah lubang pada permukaan rata dan memasang tabung sebuah piezometer seperti yang ditunjukkan oleh titik 3 pada gambar 2.10. Seperti pada gambar 2.11, tekanan dalam yang mengalir di titik (1) adalah $P_1 = \rho gh_{3-1} + P_3$, sama dengan jika fluida dalam tekanan statik. Suku ketiga dalam persamaan, ρgh , disebut tekanan hidrostatik, suku ini mewakili perubahan tekanan yang berubah karenan perubahan ketinggian.

Suku kedua dalam persamaan bernoulli, $\rho v^2/2$, disebut sebagai tekanan dinamik. Dapat dilihat pada gambar 2.10 tekanan ditinjau pada ujung sebuah tabung kecil yang berada pada aliran mengarah ke hulu. Setelah gerakan transien awal hilang, zat cair akan memenuhi tabung sampai ketinggian, H , seperti yang ditunjukkan. Fluida di dalam tabung termasuk juga yang berada ujungnya (2), akan diam. Jadi $V_2 = 0$, atau titik (2) adalah tekanan stagnasi.

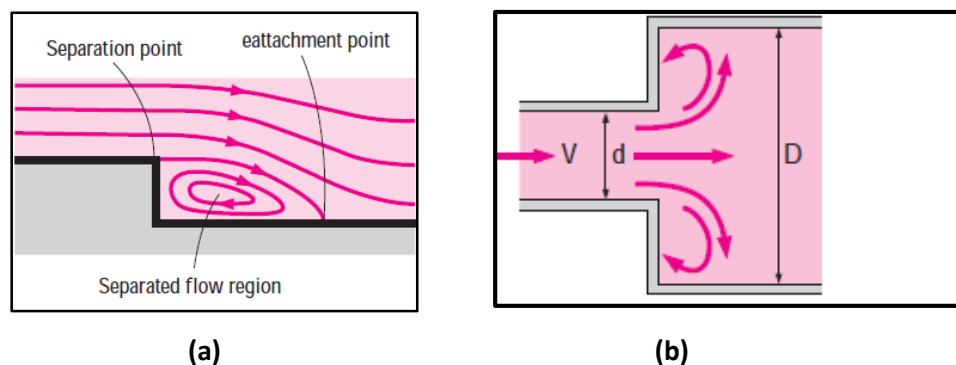
Jika menerapkan persamaan bernoulli antara (1) dan (2), dengan menggunakan $V_2 = 0$ dan mengasumsikan bahwa $z_1 = z_2$, maka didapatkan

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2$$

Dengan demikian, tekanan pada titik stagnasi lebih besar daripada tekanan statik, P_1 , sebesar tekanan dinamik $\frac{1}{2}\rho v_1^2$

2.7 Sudden Expansion

Sudden expansion adalah salah satu *minor losses* yang terjadi pada sistem aliran fluida. *Sudden Expansion* merupakan perubahan lintasan dari lintasan dengan lebar kecil menjadi lintasan dengan lebar besar. *Losses* dalam *sudden expansion* dikarenakan terbentuknya *flow separation* disaat terjadi pelebaran lintasan. *Flow separation* adalah terdapat aliran yang terpisah dengan aliran fluida yang lain. *Flow separation* dapat diilustrasikan pada gambar 2.12.



Gambar2.12 (a) Flow separation, (b) sudden expansion
Sumber : Cengel (2003,p.350)

Separation point adalah titik yang memicu adanya *flow separation*. Muncul *separation point* dikarenakan berbagai macam seperti bilangan Reynold, kekasaran permukaan, dan tingkat fluktuasi pada aliran fluida tersebut. Letak munculnya *separation point* sulit diprediksi dengan tepat kecuali adanya perubahan aliran sudut tajam atau perubahan saluran fluida secara tiba tiba.

Flow separation pada *sudden expansion* memicu terbentuk nya *separated flow region*. Separated flow region adalah aliran terpisah dengan aliran yang lain dan aliran nya melawan arus dan membentuk sirkulasi. Semakin besar *separated region*, maka semakin besar *pressure drag* dan kecepatan fluida semakin berkurang. *Sudden Expansion* merugikan dikarenakan salah satu minor losses dalam sistem aliran fluida yang mengakibatkan *head loss*

2.8 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian pengaruh aspek ratio kolom OWC dengan sisi masuk gelombang yang dijaga konstan tiap perangkat adalah

1. Aspek ratio 2:1 memiliki perubahan ketinggian permukaan air yang paling besar dikarenakan tidak adanya *sudden expansion*.
2. Aspek ratio 2:1 memiliki daya udara yang paling besar dikarenakan OWC dapat optimal memampatkan udara pada *air chamber* sehingga tekanan dan udara yang dihasilkan semakin besar.
3. Aspek ratio 2:1 memiliki efisiensi paling besar dikarenakan daya gelombang tiap perangkat OWC memiliki nilai yang sama besar sehingga efisiensi dipengaruhi oleh daya udara.





BAB III

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental nyata (*true experimental research*), yaitu melakukan penelitian secara langsung terhadap objek untuk mendapatkan data melalui proses eksperimen. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mesin-mesin Fluida Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2018 sampai dengan selesai.

3.1 Variabel Penelitian

Variabel dapat dikatakan sebagai objek yang memiliki nilai dan digunakan sebagai sifat atau ciri dari sebuah penelitian. Beberapa variabel yang ditentukan pada penelitian kali ini sebagai berikut :

1. Variabel bebas (*Independent variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan variabel nya mempengaruhi variabel lain. Variabel bebas pada penelitian kali ini adalah aspek ratio penampang *chamber* OWC di variasi 1:2 ; 1:1 dan 2:1

2. Variabel terikat (*dependent variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang diperoleh setelah dilaksanakan penelitian, dan nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini adalah:

- a. Perubahan ketinggian permukaan air dalam OWC
- b. Daya udara OWC
- c. Efisiensi OWC

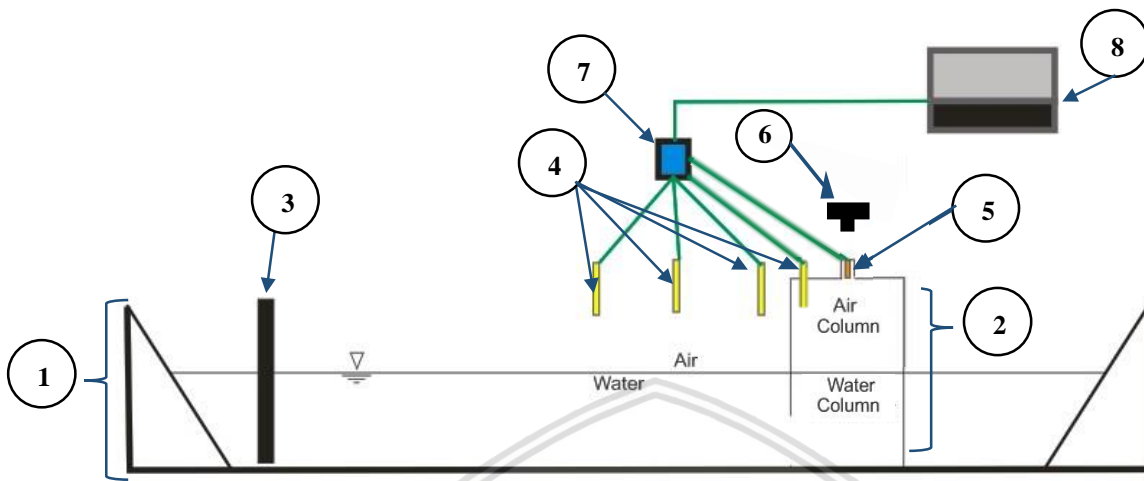
3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya dijaga konstan selama proses penelitian. Berikut adalah variabel kontrol yang nilainya dijaga tetap selama proses penelitian:

- a. Kedalaman air kolam 25 cm
- b. Panjang gelombang
- c. Tinggi gelombang
- d. Pintu masuk gelombang OWC berukuran tinggi 15 cm dan lebar 21 cm

3.2 Instalasi Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan instalasi OWC seperti dibawah ini

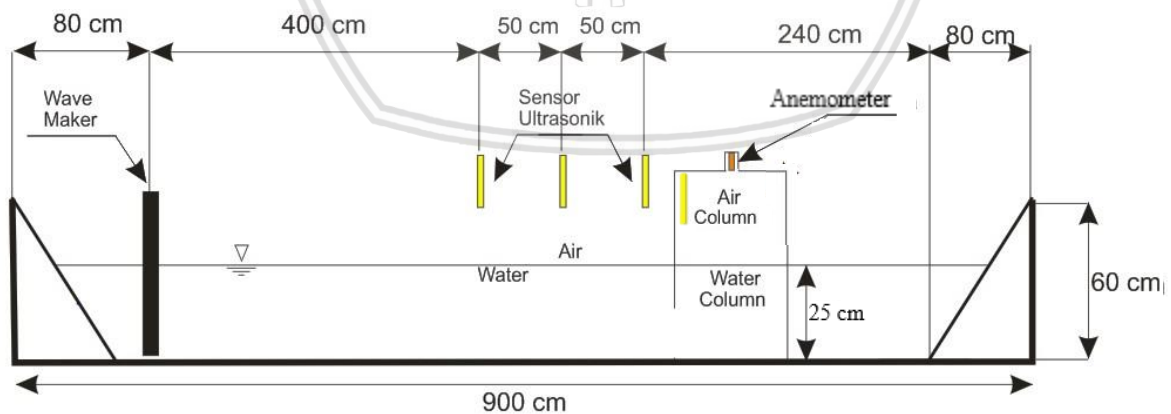


Gambar 3.1 Instalasi penelitian *oscillating water column*

Untuk keterangan nomer pada gambar 3.1 sebagai berikut.

1. Kolam air

Kolam air berfungsi menggantikan peran lautan, pada penerapan OWC. Material yang digunakan adalah akrelik. Kolam yang digunakan memiliki panjang 9 m dengan lebar 60 cm dan kedalaman 60 cm.

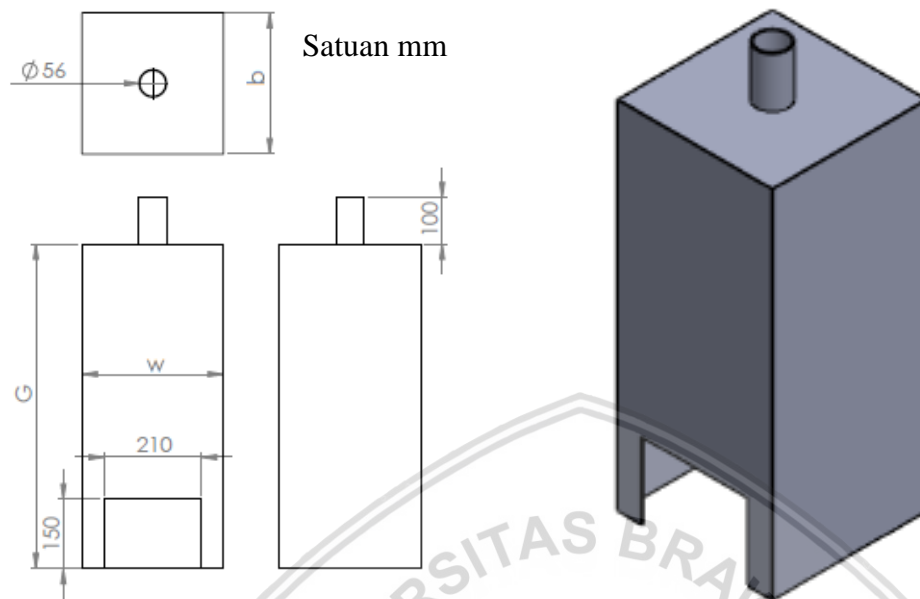


Gambar 3.2 Dimensi kolam air

2. *Oscillating water Column*

Oscillating water column adalah alat utama pada penelitian ini, hasil tekanan udara yang keluar pada perangkat ini yang diamati. Penelitian ini menggunakan 3 buah OWC.

Material yang digunakan adalah akrilik. geometri dan dimensi perangkat dapat dilihat pada gambar 3.3 dan tabel 3.1



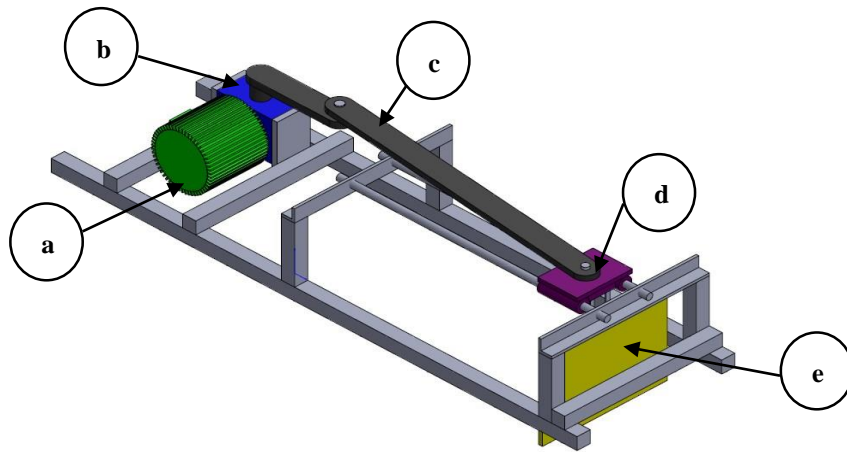
Gambar 3.3 Oscillating water column.

Tabel 3.1
Tabel dimensi pada OWC

OWC	Tinggi (G)	Panjang (b)	Lebar (w)	Aspek Ratio (Panjang : Lebar)
1	700 mm	210 mm	425 mm	1 : 2
2	700 mm	300 mm	300 mm	1 : 1
3	700 mm	425 mm	210 mm	2 : 1

3. Wave maker

Wave maker berfungsi untuk membuat gelombang pada air. *Wave maker* dapat diatur sedemikian rupa untuk mendapatkan karakteristik ombak air yang diinginkan.



Gambar 3.4 Wave maker

Bagian-bagian *wave maker* dapat dilihat pada gambar 3.4 dengan penjelasan berikut

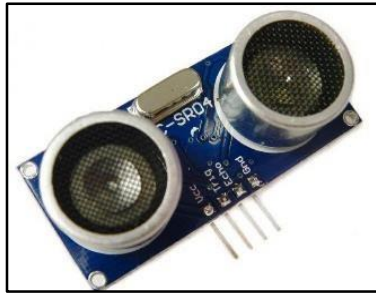
- a. Motor 3 phase 2HP
- b. Gearbox ratio 28 :1
- c. Lengan pendorong
- d. Sleding pendorong
- e. Papan pendorong air

Prinsip kerja dari *wave maker* adalah moto yang terpasang merubah energi listrik menjadi enerhi mekanik berupa gerakan rotasi. Kecepatan sudut pada motor di turunkan menggunakan *gear box* dan kecepatan sudut pada *gear box* dihubungkan dengan *sleding* pendorong. *Sleding* pendorong terhubung dengan rel sehingga kecepatan yang dimiliki berupa kecepatan transisional. *Sleding* pendorong terhubung dengan papan pendorong air untuk menghasilkan gelombang pada kolam air.

4. Sensor ultrasonic (HC-SR04)

Sensor ultrasonic berfungsi untuk mengukur ketinggian permukaan gelombang .
Spesifik dari sensor HC-SR04 adalah sebagai berikut:

- Range jarak penggunaan antara 2cm – 300cm
- Tingkat kepresisian pengukuran jarak $\pm 3\text{mm}$
- Ketelitian pengukuran 0.05mm
- Dimensi modul 45mm x 20mm



Gambar 3.5 Sensor ultrasonic (HC-SR04)

5. Anemometer

Anemometer berfungsi untuk mengukur kecepatan udara pada saluran buang. Anemometer yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut

- anemometer Lutron LM-8010
- Range yang terbaca 0.4 m/s hingga 30 m/s
- Ketelitian 0.1 m/s



Gambar 3.6 Anemometer

6. Kamera

Kamera berfungsi sebagai perekam data yang dihasilkan oleh anemometer. Kamera yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut

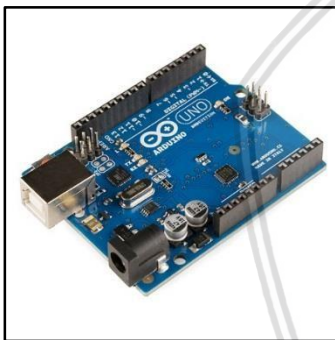
- Kamera Nikon D3400
- Resolution 24.20 Megapixels
- Native ISO: 100 - 25,600
- Shutter: 1/4000 - 30 secondss



Gambar 3.7 Kamera

7. Arduino

Arduino adalah sebuah chip yang menjadi mikrokontroler yang dapat mengatur komponen lain yang terhubung dengan nya. Arduino nanti dihubungkan dengan sensor ketinggian gelombang air



Gambar 3.8 Arduino

8. Laptop

Dalam penelitian ini menggunakan laptop HP untuk mengolah data yang didapat oleh Arduino.

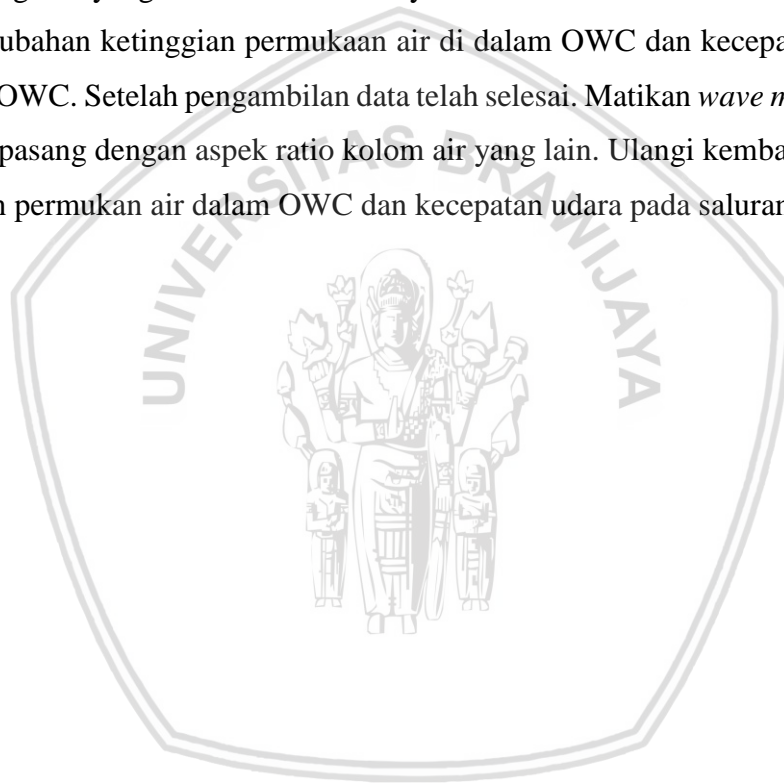


Gambar 3.9 Laptop

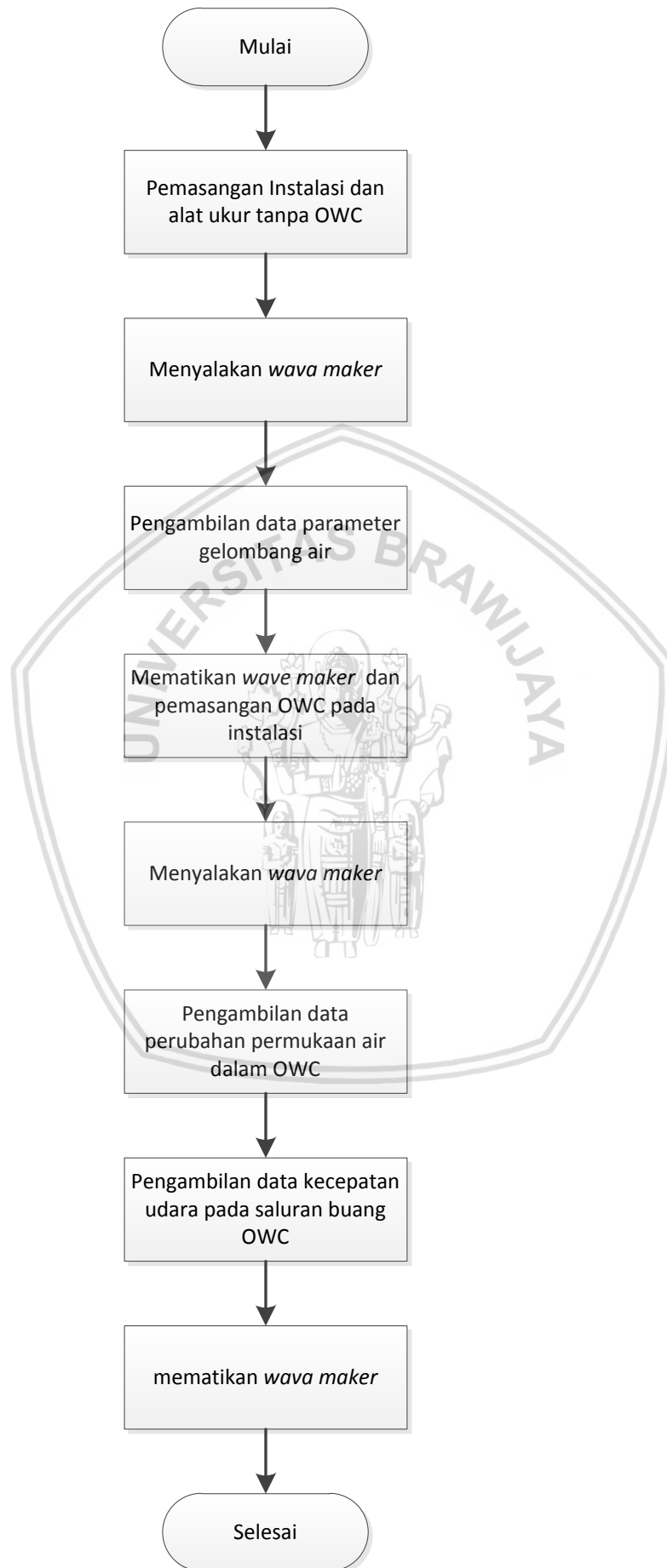
3.3 Prosedur Penelitian

Pengujian dimulai dengan pemasangan alat yang dirangkai sesuai skema instalasi pada gambar 3 tanpa OWC. Pastikan semua alat uji yang terpasang, berfungsi dengan baik. Kemudian nyalakan *wave maker* untuk menghasilkan gelombang pada kolam air. Ukur parameter – parameter gelombang yang terbentuk *wave maker* menggunakan arduino yang terhubung dengan sensor ultrasonic. Kemudian pencatatan data parameter gelombang air seperti kedalaman air disaat tenang, panjang gelombang air, amplitudo gelombang air dan ketinggian gelombang air.

Setelah pencatatan parameter gelombang air, matikan *wave maker* dan letakan OWC pada gelombang air yang stabil. Kemudian nyalakan kembali *wave maker* dan lakukan pencatatan perubahan ketinggian permukaan air di dalam OWC dan kecepatan udara pada saluran buang OWC. Setelah pengambilan data telah selesai. Matikan *wave maker* dan ganti OWC yang terpasang dengan aspek ratio kolom air yang lain. Ulangi kembali pengambilan data perubahan permukaan air dalam OWC dan kecepatan udara pada saluran buang OWC.



3.5 Flowchart Penelitian

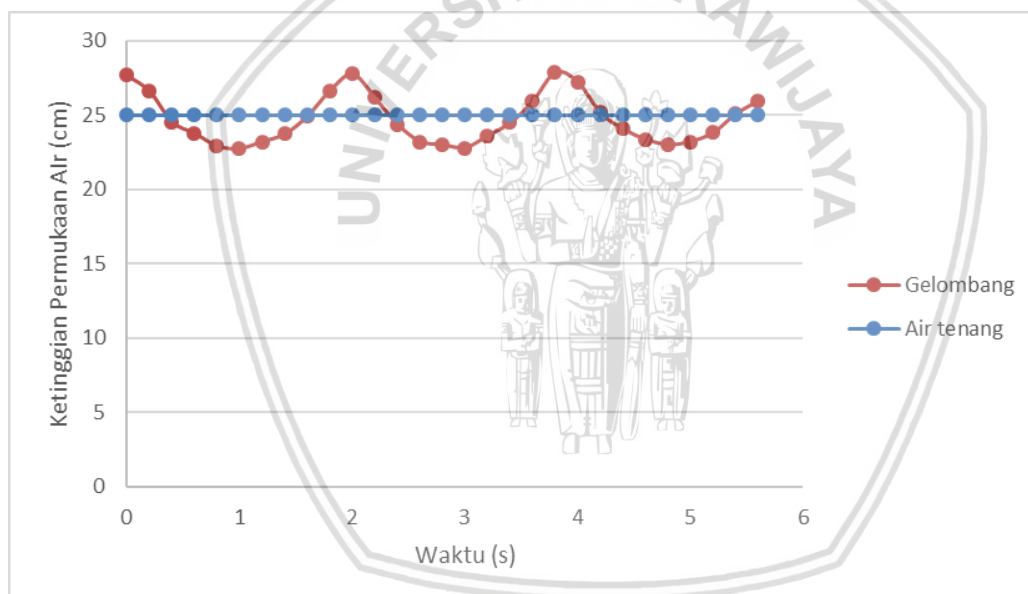


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

4.1.1 Pengolahan Data Daya Gelombang Air

Hasil dari penelitian ini merupakan data penelitian langsung terhadap karakteristik gelombang air. Pengambilan data karakteristik gelombang air diperoleh disaat *chamber* OWC tidak diletakkan pada kolam air. Pengambilan data karakteristik gelombang air meliputi kedalaman air pada posisi tenang, panjang gelombang, amplitudo gelombang, tinggi gelombang dan periode gelombang. Dari data gelombang yang diperoleh dari hasil penelitian didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.1 Visualisasi gelombang air

Gambar 4.1 diatas menunjukkan ketinggian gelombang air yang terjadi saat penelitian. Grafik tersebut dianalisis untuk mendapatkan karakteristik gelombang yang akan digunakan di penelitian ini. Karakteristik gelombang yang didapat yaitu panjang gelombang, tinggi gelombang, periode gelombang, dan kedalaman air.

Tabel 4.1

Parameter gelombang air

NO	Data	nilai	Satuan
1	Kedalaman air	0.25	m
2	Panjang gelombang	3	m
3	Amplitudo gelombang	0.025	m
4	Tinggi gelombang	0.05	m
5	Periode gelombang	2	Detik

Dari data tersebut, maka dapat dilakukan perhitungan lebih lanjut untuk mendapatkan besar daya gelombang air .

1. nomer gelombang

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

$$k = \frac{2\pi}{3} = 2.09$$

2. klasifikasi gelombang

dengan kedalaman gelombang $d = 0.25$ m dan $k = 2.09$ maka gelombang yang terbentuk termasuk klasifikasi gelombang transtitional (berdasarkan buku *wave mechanic*)

3. kecepatan gelombang grup

$$c_g = \frac{L}{2T} \left[1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right]$$

$$c_g = \frac{3}{22} \left[1 + \frac{2 \cdot 2.09 \cdot 0.25}{\sinh(2 \cdot 2.09 \cdot 0.25)} \right]$$

$$c_g = 1.3787 \text{ m/s}$$

4. Energi gelombang air

$$\bar{E} = \frac{\rho g H^2}{8}$$

$$\bar{E} = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 0.05^2}{8} = 3.0656 \text{ joule/m}^2$$

5. Daya gelombang air

$$P_{wave} = \bar{E} \cdot c_g \cdot b$$

$$P_{wave} = 3.0656 \cdot 1.3787 \cdot 0.21$$

$$P_{wave} = 0.8876 \text{ Watt}$$

Dikarenakan data karakteristik gelombang diambil disaat OWC tidak terpasang. Maka energi dan kecepatan grup gelombang bernilai sama. Untuk lebar pada OWC aspek ratio 1:2; 1:1; 2:1 memiliki lebar sisi masuk gelombang sama, sehingga nilai daya gelombang yang diterima OWC aspek ratio 1:2; 1:1; 2:1 memiliki nilai yang sama yaitu 0,8876 Watt

4.1.2 Pengolahan Data Daya Udara

Setelah mendapatkan daya gelombang air, maka perlu pengambilan data selanjutnya yaitu data daya udara. Data yang diperlukan untuk mendapatkan daya udara adalah kecepatan udara. Dengan kecepatan udara akan didapatkan perbedaan tekanan dinamis di *air chamber* dengan tekanan di atmosfer.

Tabel 4.2
Kecepatan udara pada saluran buang

No	Kecepatan udara (m/s)		
	V 1:2	V 1:1	V 2:1
1	3.6	3.3	3.9
2	3.4	2.9	3.6
3	4.1	3.4	4.1
4	3.6	3.3	3.8
5	3.4	2.9	3.7
6	3.9	3.2	4.3
7	3.5	3.1	3.7
8	4	3.2	3.8
Rata rata	3.6875	3.1625	3.8625

$$\Delta P = \left(\frac{\rho_a v^2}{2} \right)$$

Dengan rumus diatas diperoleh perbedaan tekanan tiap detik seperti pada tabel 4.3 berikut

Tabel 4.3
Beda tekanan pada *air chamber* dan lingkungan

NO	Beda tekanan (Pa)		
	ΔP 1:2	ΔP 1:1	ΔP 2:1
1	7.776	6.534	9.126
2	6.936	5.046	7.776
3	10.086	6.936	10.086
4	7.776	6.534	8.664
5	6.936	5.046	8.214
6	9.126	6.144	11.094
7	7.35	5.766	8.214
8	9.6	6.144	8.664

$$P_{owc} = \Delta P \cdot Q$$

$$\Delta P = \left(\frac{\rho_a v_{ave}^2}{2} \right)$$

$$= \left(\frac{1,2 \cdot 3,6875^2}{2} \right)$$

$$= 8.1586 \text{ kg/ms}^2$$

$$Q = \left(v \cdot \frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$Q = (3,6875 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,56^2}{4})$$

$$Q = 0.0091 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_{owc} = \Delta P \cdot Q$$

$$P_{owc} = 8,1586 \cdot 0,0091$$

$$P_{owc} = 0,0741 \text{ Watt}$$

Dari perhitungan yang sama maka akan didapat daya udara yang dihasilkan seperti pada tabel 4.4

Tabel 4.4
Daya udara OWC

No	Aspek ratio (panjang : lebar)	Kecepatan rata rata (m/s)	Beda tekanan (kg/ms ²)	Debit udara (m ³ /s)	Daya udara OWC (Watt)
1	1 : 2	3.6875	8.1586	0.0091	0.0741
2	1 : 1	3.1625	6.0008	0.0078	0.0467
3	2 : 1	3.8625	8.9513	0.0095	0.0851

4.1.3 Pengolahan Efisiensi OWC

Setelah mendapatkan daya gelombang air dan daya udara yang dihasilkan OWC, maka dapat mencari efisiensi. Contoh perhitungan efisiensi sebagai berikut

$$Efisiensi_{owc} = \left(\frac{P_{owc}}{P_{gelombang\ laut}} \right) \cdot 100 \%$$

$$= \left(\frac{0.0741}{0.8876} \right) \cdot 100 \% = 8.3439 \%$$

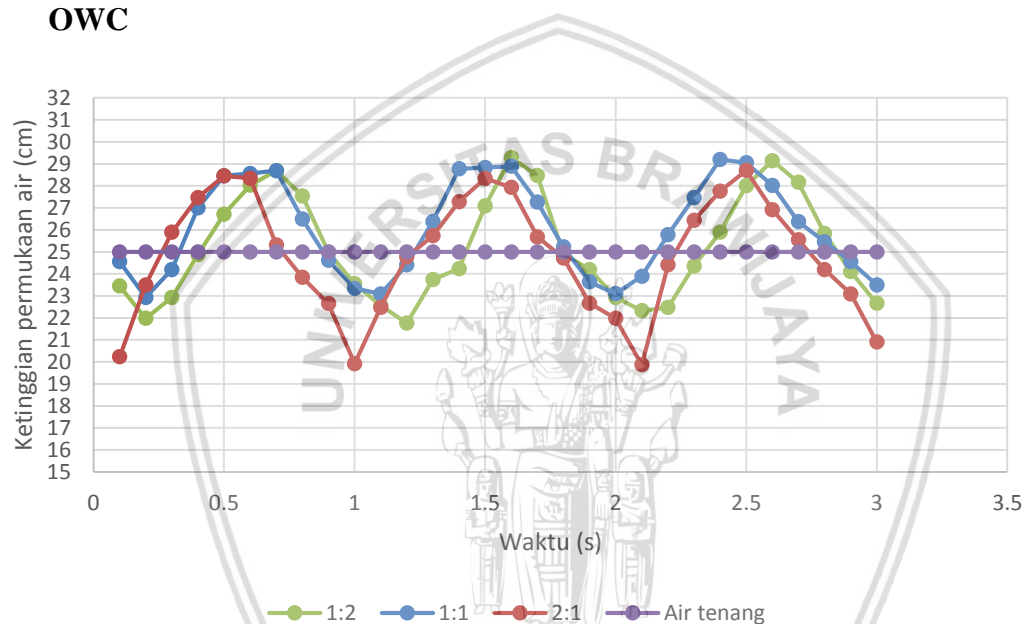
Dengan perhitungan yang sama, maka efisiensi pada aspek ratio yang diperoleh seperti pada tabel 4.5

Tabel 4.5
Efisiensi OWC

No	Aspek ratio (panjang : lebar)	Daya gelombang air (Watt)	Daya udara OWC (Watt)	Efisiensi (%)
1	1 : 2	0,8876	0.0741	8.3439
2	1 : 1	0,8876	0.0467	5.2634
3	2 : 1	0,8876	0.0851	9.5891

4.2 Analisa Grafik

4.2.1 Hubungan Aspek Ratio Kolom Air Terhadap Ketinggian Permukaan Air Dalam OWC

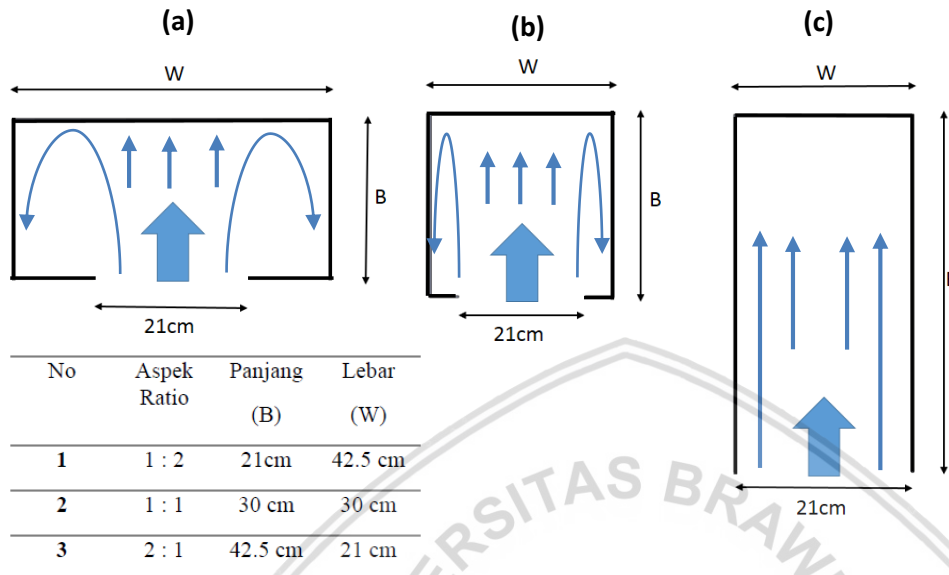


Gambar 4.2 Hubungan aspek ratio kolom air terhadap ketinggian permukaan air dalam OWC

Gambar 4.2 adalah grafik perubahan ketinggian permukaan air didalam OWC. Disaat ketinggian gelombang air meningkat maka permukaan air didalam OWC mengalami kenaikan, begitu pula sebaliknya. Besar kecil nya perubahan ketinggian permukaan air didalam OWC dipengaruhi oleh daya yang diserap oleh OWC. Semakin besar daya diserap OWC semakin besar pula perubahan permukaan air didalam OWC.

Gambar 4.2 merupakan perubahan ketinggian permukaan air di dalam OWC. Urutan perubahan ketinggian permukaan air dari terkecil ke terbesar dimiliki oleh aspek ratio kolom udara 1:1 perubahan tinggi 6 cm, kemudian aspek ratio kolom 1:2 dengan perubahan tinggi 7 cm, dan terbesar pada aspek ratio kolom udara 2:1 dengan perubahan tinggi permukaan 8 cm. Dalam penelitian ini daya gelombang air memiliki nilai yang sama pada semua aspek

ratio kolom air, akan tetapi perubahan memiliki perubahan kolom air yang berbeda beda. Ini menunjukkan terdapat losses yang mengakibatkan daya gelombang air tidak optimal memampatkan udara di *air chamber*.



Gambar 4.3 OWC aspek ratio kolom air (a)1:2 ; (b) 1:1 ; (c) 2:1

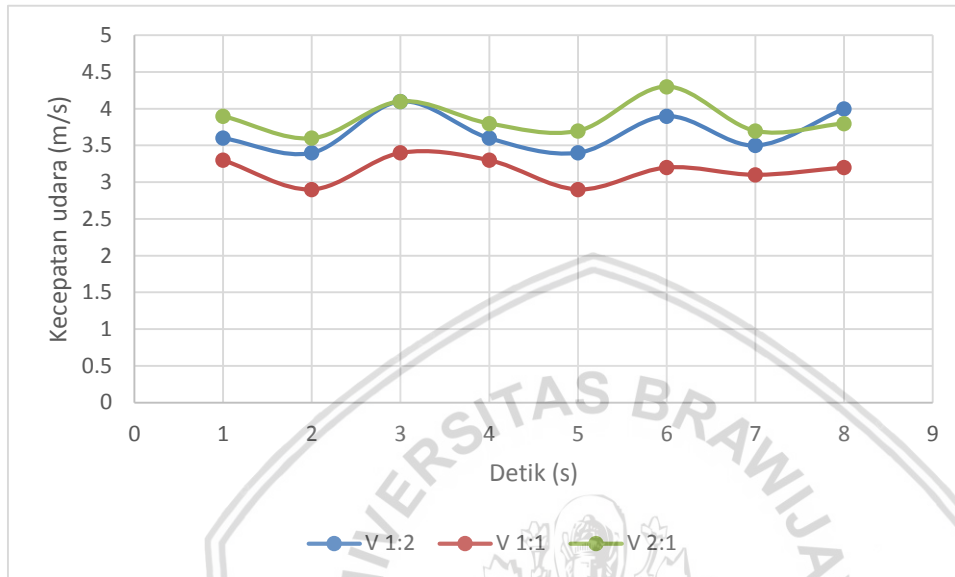
Pada gambar 4.3 menjelaskan adanya *head losses* ini dikarenakan oleh *sudden expansion* yaitu perubahan luas penampang pada lintasan gelombang secara tiba tiba. *Sudden expansion* mengakibatkan terjadi nya pusaran di dalam *water chamber* sehingga daya gelombang air yang memasuki OWC mengakibatkan terjadi nya *head loss*

Sudden expansion terjadi pada aspek ratio 1:1 yang lebar sisi masuk air 21 cm kemudian terjadi pelebaran menjadi 30 cm sehingga fluida mengisi ruang dan terjadi pusaran air didalam OWC. Pusaran air menunjukkan terdapat air yang terhambat melintasi saluran. *Sudden expansion* juga dialami aspek ratio 1:2 yang dimana sisi masuk air dengan lebar 21 cm mengalami pelebaran menjadi 42.5 cm sehingga mengalami pusaran air di dalam *water chamber*. Perubahan ketinggian permukaan air pada aspek ratio kolom air 1:2 lebih besar daripada 1:1 dikarenakan lintasan yang ditempuh air di dalam OWC pada aspek ratio kolom air 1 : 2 lebih pendek daripada lintasan air yang ditempuh pada aspek ratio kolom air 1 : 1. Semakin pendek lintasan yang di tempuh air di OWC maka semakin cepat daya gelombang air digunakan untuk meningkatkan permukaan air di dalam OWC. Selain itu semakin pendek lintasan air yang ditempuh semakin cepat air keluar dari *water chamber* sehingga penurunan permukaan air semakin besar.

Pada aspek ratio 2:1 tidak mengalami *sudden expansion* sehingga tidak terjadinya pusaran air. Gelombang air dengan mudah masuk dan keluar dari *water chamber* sehingga

daya gelombang air yang diterima oleh OWC optimal meningkatkan perubahan ketinggian permukaan air di dalam OWC

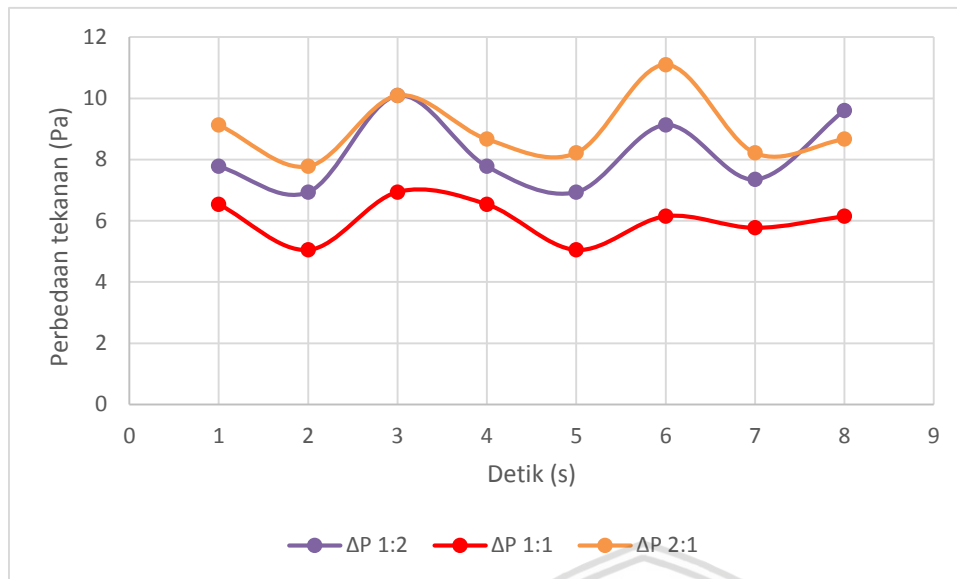
4.2.2 Hubungan Aspek Ratio Kolom Air Terhadap Kecepatan Udara di Saluran Buang dan Perbedaan Tekanan Udara di *Air Chamber* dan Atmosfer



Gambar 4.4 kecepatan udara pada saluran buang

Dari data pada table 4.2 mengenai kecepatan udara pada saluran buang dapat dilustrasikan seperti grafik pada gambar 4.4

Dari penelitian, pengambilan data kecepatan udara diambil disaat gelombang air dalam kondisi stabil. Data kecepatan udara diambil untuk mendapatkan perbedaan tekanan dinamis di dalam *air chamber* dan di atmosfer. Disaat grafik kecepatan udara berada di nilai terendah, disebabkan oleh proses ekspansi sehingga udara di lingkungan menuju *air chamber*. Disaat kecepatan udara berada di nilai tertinggi, disebabkan oleh proses kompresi sehingga udara di *air chamber* menuju lingkungan. Data kecepatan udara yang diperoleh adalah besar kecepatan yang tidak memperhatikan arah kecepatan tersebut. Kecepatan udara berbanding lurus dengan perbedaan tekanan *air chamber* dan atmosfer dengan rumus pada persamaan 2.12

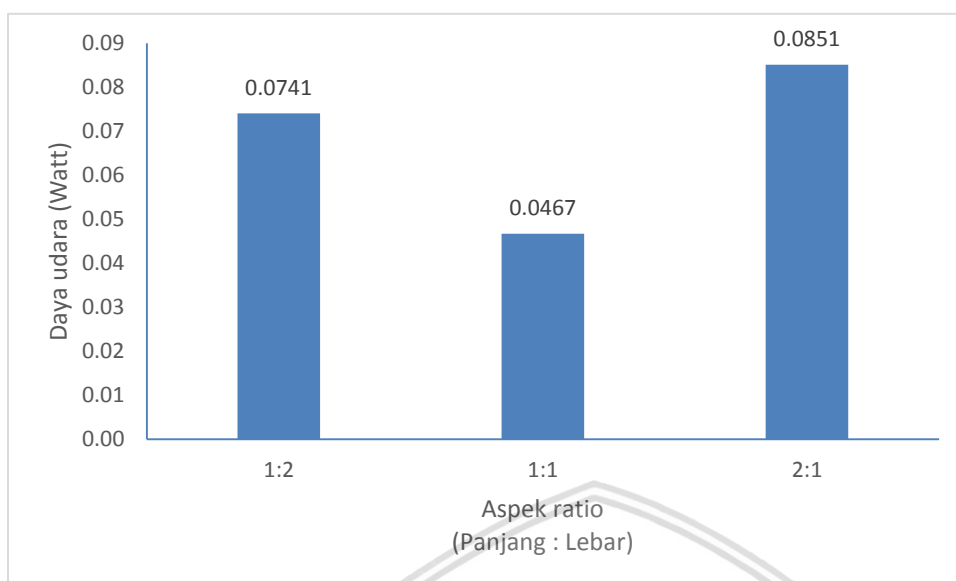


Gambar 4.5 Perbedaan tekanan antara *air chamber* dengan lingkungan

Dari gambar 4.5 diatas menjelaskan perbedaan tekanan antara *air chamber* dengan lingkungan mengalami naik dan turun. Perbedaan tekanan mengalami kenaikan dikarenakan terjadinya proses kompresi pada *air chamber* sehingga nilai perbedaan meningkat. Tekanan udara pada *air chamber* lebih besar daripada tekanan udara di lingkungan sehingga udara pada *air chamber* menuju lingkungan. Disaat perbedaan tekanan mengalami penurunan dikarenakan terjadinya proses ekspansi yang mengakibatkan nilai tekanan udara di lingkungan lebih besar daripada tekanan pada *air chamber* sehingga udara di lingkungan terhisap menuju *air chamber*.

Pada aspek ratio kolom air 2:1 memiliki kecepatan udara pada saluran buang paling tinggi dikarenakan perubahan permukaan air pada OWC mempengaruhi kemampuan OWC memampatkan udara di *air chamber*. Semakin besar perubahan ketinggian permukaan air maka perbedaan volume udara pada *air chamber* disaat kompresi dan ekspansi juga besar mengakibatkan perbedaan tekanan udara yang dihasilkan besar. Perbedaan tekanan pada OWC berbanding lurus dengan kecepatan udara pada saluran buang OWC.

4.2.3 Hubungan Aspek Ratio Kolom Air Terhadap Daya Udara



Gambar 4.6 Hubungan aspek ratio kolom air terhadap daya udara

Gambar 4.6 merupakan grafik hubungan aspek ratio terhadap daya udara yang dihasilkan oleh proses kompresi dan ekspansi udara pada *air chamber*. Proses kompresi udara meningkatkan tekanan udara pada *air chamber* dikarenakan pengkecilan volume *air chamber*. Dikarenakan tekanan udara di air meningkat, udara mengalir ke lingkungan. Pada proses ekspansi udara, tekanan udara pada *air chamber* menurun sehingga udara pada atmosfer menuju *air chamber* melalui saluran buang. Udara yang melalui saluran buang memiliki tekanan sehingga dapat menghasilkan daya udara.

Daya udara (P_{owc}) dipengaruhi oleh perbedaan tekanan (ΔP) pada saluran dengan tekanan atmosfer dan debit udara (Q) yang melalui saluran buang. Dengan nilai beda tekanan pada saluran dengan atmosfer akan diperoleh kecepatan fluida yang melalui saluran buang OWC. Untuk mendapatkan nilai debit saluran udara diperlukan perhitungan menggunakan kecepatan udara dan luas penampang saluran buang, sesuai dengan persamaan 2.12 dan 2.13

Pada Gambar 4.6 menunjukkan hubungan aspek ratio terhadap daya udara yang dihasilkan. Dari data diatas dapat dilakukan analisa efek aspek ratio terhadap daya udara (P_{owc}). Pada aspek ratio 1:1 memiliki daya udara yang dihasilkan 0.0346 Watt. Disaat aspek ratio menjadi 1:2 memiliki daya udara yang dihasilkan 0.0779 Watt. Disaat aspek ratio menjadi 2:1 daya udara yang dihasilkan 0.1357 Watt. Daya udara yang dihasilkan dari urutan terkecil hingga terbesar adalah pada aspek ratio 1:1; 2:1; 1:2.

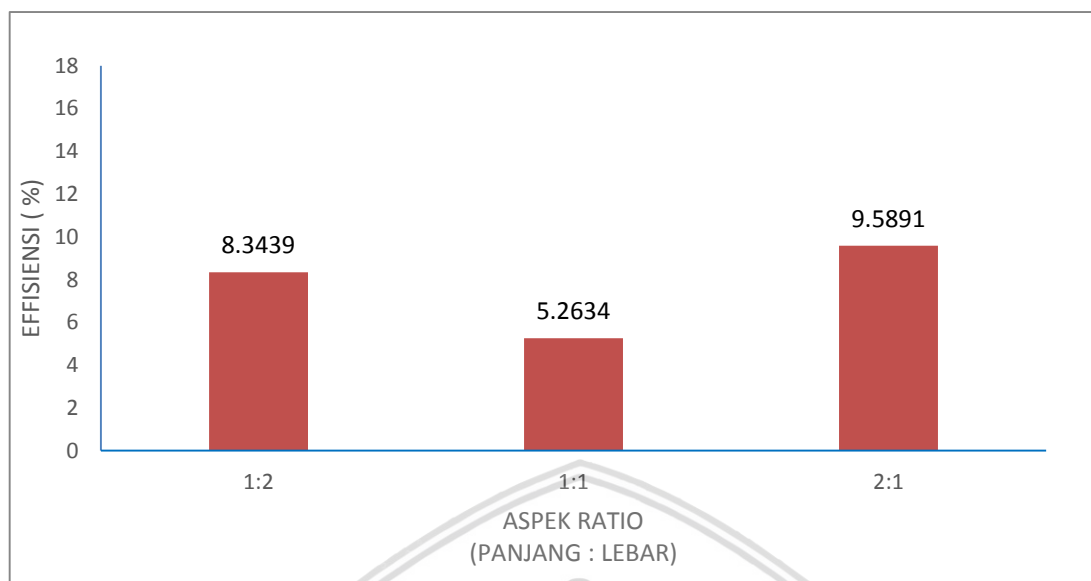
Pada aspek ratio 1:1 memiliki daya udara yang terkecil dikarenakan gelombang laut yang memasuki *water chamber* mengalami pelebaran lintasan secara tiba tiba sehingga

terjadi *sudden expansion*, aliran mengalami perubahan arah untuk mengisi ruang dan membentuk pusaran air. Pusaran air menunjukkan terjadi nya suatu hambatan pada aliran air tersebut. Dengan adanya hambatan pada aliran, perubahan permukaan air didalam OWC tidak terlalu besar sehingga kemampuan memampatkan udara di *air chamber* tidak optimal. nilai daya gelombang laut 0.8876 Watt mengalami penurunan daya yang diakibatkan oleh hambatan aliran, sehingga perbedaan tekanan yang dihasilkan tidak maksimal dan daya udara yang dihasilkan tidak optimal.

Pada aspek ratio 1:2 memiliki daya udara yang lebih besar dikarenakan gelombang laut yang memasuki *water chamber* mengalami *sudden expansion*, *separated flow* yang terbentuk dikarenakan *sudden expansion* mengakibatkan daya gelombang laut mengalami losses. Lintasan yang ditempuh gelombang laut pada OWC aspek ratio 1:2 yang sepanjang 21.5 cm lebih pendek daripada pada OWC aspek ratio 1:1 yang sepanjang 30 cm mengalami losses yang tidak sebesar yang dialami oleh aspek ratio 1:1.

Pada aspek ratio 2:1 memiliki daya udara terbesar dikarenakan gelombang laut yang memasuki *water chamber* tidak mengalami *sudden expansion*, sehingga aliran gelombang tidak mengalami *separated flow*. Daya gelombang air yang bernilai 0.8876 Watt dapat meningkatkan tekanan udara pada *air chamber* dengan optimal

4.2.4 Hubungan Aspek Ratio Kolom Air Terhadap Efisiensi



Gambar 4.7 Pengaruh aspek ratio kolom air terhadap efisiensi

Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh aspek ratio terhadap efisiensi yang dihasilkan oleh OWC. Nilai Efisiensi pada OWC dipengaruhi besar nilai daya gelombang air laut dan daya udara yang dihasilkan oleh OWC. Efisiensi OWC dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut

$$Efisiensi_{owc} = \left(\frac{P_{owc}}{P_{gelombang\ laut}} \right) \cdot 100 \%$$

Dimana

P_{owc} = daya udara yang dihasilkan OWC

$P_{gelombang\ laut}$ = daya gelombang laut

Dari rumus diatas diketahui bahwa nilai efisiensi berbanding lurus dengan daya udara yang dihasilkan OWC dan berbanding terbalik dengan daya gelombang laut. Dengan daya gelombang laut yang bernilai sama sebesar 0.8876 Watt pada OWC seluruh aspek ratio. Efisiensi dipengaruhi oleh daya udara yang dihasilkan oleh OWC. Efisiensi dari urutan terkecil hingga terbesar dimiliki oleh OWC dengan aspek ratio 1:1; 2:1 dan 1:2. Pada aspek ratio 1:1 memiliki nilai efisiensi 3,9031 %. Pada aspek ratio 2:1 memiliki nilai efisiensi 8,7754 %. Pada aspek ratio 1:2 memiliki nilai efisien 15,2907 %.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada aspek ratio kolom air 2:1 memiliki perubahan ketinggian permukaan air dalam OWC paling besar daripada aspek ratio kolom air 1:2 dan 1:1. Hal ini disebabkan pada aspek ratio kolom air 2:1 memiliki tidak mengalami *sudden expansion* yang mengakibatkan *head losses* pada daya gelombang air yang masuk.
2. Pada aspek ratio kolom air 2:1 memiliki daya udara paling besar dibandingkan aspek ratio 1:2 dan 1:1 yaitu sebesar 0,0851 Watt. Hal ini disebabkan pada aspek ratio kolom air 2:1 tidak mengalami *sudden expansion* yang mengakibatkan head losses pada daya gelombang air yang masuk.
3. Nilai efisiensi paling tinggi terjadi pada Aspek ratio 2:1, hal ini dapat terjadi karena daya gelombang air pada aspek ratio 2:1 tidak mengalami sudden expansion pada aliran gelombang air, sehingga daya gelombang air yang diterima dengan optimal menghasilkan daya udara. Efisiensi yang dimiliki oleh aspek ratio 2:1 sebesar 9.589 %.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya agar melakukan penelitian secara eksperimental nyata dan eksperimental semu agar dapat membandingkan hasil yang didapat.
2. Untuk penerapan di kehidupan sehari hari, untuk penelitian selanjutnya disarankan menggunakan variasi gelombang air dikarenakan pada aktual gelombang air cenderung berubah rubah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bouali, B.& Larbi, S. (2013). *Contribution to the Geometry Optimazation of an Oscillating Water Column Wave Energy Converter*. 5 No. 36:565-573
- Cengel, Y.A. (2003). *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*. New York:McGraw-Hill
- Dean, G. Robert & Robert A. Dalrymple (1984). *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*. Cornell :Philip L-F Liu
- Holthuijsen, Leo H. (2007). *Waves in Oceanic and Coastal Waters*. Cambridge :
- Iturrioz, A., Guanche., Lar, J. L., Vidal, C & Losada, I. J. (2015). *Validation of OpenFoam for Oscillating Water Column Three-Dimensional Modeling* 107 N0222-236
- Munson, B.R. (2002). *Fundamentals of Fluid Mechanics seventh edition*. Ames:John Willey and Sons,inc.
- Mahnamfar. F (2017). *Comparison of Numerical and Experimental Analyses for Optimizing the Geometry of OWC systems*. 5 No. 130:10-24
- Simonetti, I., Cappietti, L., Elsafti, H. & Oumeraci H. (2017). *Optimization of the geometry and the turbine induced damping for fixed detached and asymmetric OWC devices: A numerical study*. No. 139:1197-1209